

Eksergi, Vol 16, No. 2. 2019
ISSN: 1410-394X

Aplikasi *Tuning* Metode Cohen-Coon pada Pengendali pH di Tangki Netralisasi, Unit Pengolahan Limbah

Application of Cohen-Coon Method for Tuning of pH Controller Parameters in Neutralization Tank, Waste Water Treatment Unit

Profiyanti H. Suharti^{a*}, Khalimatus Sa'diyah^a, M. Rizky Hernanda^a and Rania Mirantika Sarida^a

^a Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta 9, Malang, 65141, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 27 April 2019
Diterima dalam revisi 31 Juli 2019
Diterima 24 Oktober 2019
Online 31 Oktober 2019

ABSTRAK: Air limbah yang dihasilkan dalam industri harus diolah terlebih dahulu, untuk memenuhi standar yang ditetapkan oleh Pemerintah. pH menjadi parameter penting dalam proses pengolahan air limbah. Seperti pada limbah industri serat sintetis mengandung ion yang membuat pH air limbah berkisar 2 hingga 3. Nilai ambang batas untuk pH air limbah, berdasarkan peraturan Menteri lingkungan, berkisar antara 6 hingga 9. Proses utama untuk mencapai standar ini adalah proses netralisasi. Pengontrol pH telah dipasang untuk memantau dan memenuhi target pH di tangki netralisasi. Pengontrol pH yang digunakan adalah jenis pengontrol PID (*proporsional, integral, derivatif*). Parameter PID yang digunakan dalam *controller* adalah proporsional gain (K_c) = 10, waktu integral = (τ_i) 1 menit dan waktu derivative (τ_D) = 10 detik. Parameter ini menghasilkan respons osilatif. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter PID optimal yang dapat diterapkan dalam IPAL sehingga pH air limbah bisa dikontrol pada kisaran pH 7. Hasil percobaan menunjukkan bahwa parameter pengontrol PID $K_c = 0,251$, $\tau_i = 151$ detik = 2,51 menit dan $\tau_D = 12,5$ detik, memiliki kinerja yang lebih baik daripada parameter pengontrol PID yang digunakan sebelumnya.

Kata kunci: *proporsional; integral; derivatif; tangki; netralisasi*

ABSTRACT: Wastewater generated in industry should be treated, in order to meet the standards set by the Government. pH became important parameters in the process of wastewater treatment. One of waste in industrial synthetic fibers contain ions that make pH of wastewater ranged from 2 to 3. The value of the threshold for the pH of the wastewater, based on regulation of the Minister of environment, ranged from 6 to 9. The main process to achieve this standar was the neutralization process. In order to fulfilment the pH target, pH controller has been used to monitor the pH at neutralization tank. pH controller which is used is a type of PID (*proportional, integral, derivative*) controller. The PID parameter that used in the controller are proportional gain (K_c) 10, integral time (τ_i) 1 minutes and 10 second as derivative time (τ_D). This parameter yields an oscillation response. This research aims to get the optimum PID parameters that can be applied to keep wastewater pH around 7. The experiment results show that the parameters of the PID controller $K_c = 0.251$, $\tau_i = 151$ second = 2.51 minutes and $\tau_D = 12.5$ second, had better performance than the PID controller parameters used previously.

Keywords: *proportional; integral; derivative; neutralization; tank*

1. Pendahuluan

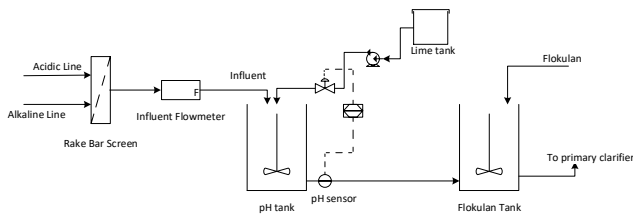
Air limbah yang dihasilkan dalam industri harus diolah terlebih dahulu, untuk memenuhi standar yang ditetapkan oleh Pemerintah. pH menjadi parameter penting dalam proses pengolahan air limbah. Salah satu limbah dalam industri serat sintetis mengandung ion-ion sulfida, seperti H_2S , CS_2 , S^{2-} , yang membuat pH air limbah berkisar antara 2 hingga 3. Nilai ambang batas untuk pH air limbah, berdasarkan Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup

Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, berkisar antara 6 hingga 9. Proses utama untuk mencapai standar ini adalah proses netralisasi. Untuk memenuhi target pH, pengontrol pH telah digunakan untuk memantau pH di tangki netralisasi. Pengontrol pH yang digunakan adalah jenis pengontrol PID (*proportional, integral, and derivative controller*).

Proses netralisasi berlangsung di tangki netralisasi (*neutralization unit*) yaitu di mana limbah (*influent*) yang

*Corresponding Author: +62-8121748083; fax : +62-341404424
Email: profiyanti@polinema.ac.id

berasal dari unit proses mengalami proses penetralan dengan penambahan kapur (lime) di pH tank. Proses tersebut terlihat dalam Gambar 1. Penambahan kapur dilakukan berdasarkan hasil pengukuran pH di dalam pH tank, dan tergantung pada besarnya persen bukaan *control valve*. Dengan demikian, variabel-variabel dalam sistem pengendali ini berupa: (1) *process variable* – PV, atau dikenal juga sebagai *controlled variable*, adalah pH larutan limbah di dalam pH tank; (2) *manipulated variable* – MV adalah laju alir kapur yang ditambahkan ke dalam pH tank; dan (3) *disturbance* – D adalah laju alir limbah yang masuk pH tank (*influent*). Laju alir kapur yang ditambahkan ke dalam pH tank diatur dengan mengubah bukaan *control valve*, yang bekerja secara otomatis mengikuti PID Controller berdasarkan nilai *error*



Gambar 1. Neutralization unit QIC 3001 di waste water treatment plant industri serat sintetis

(selisih antara pH larutan limbah terukur aktual di pH tank dan pH larutan limbah yang diinginkan – *set point*).

Parameter PID yang digunakan dalam PID controller di unit ini adalah *proportional band* (PB) 10, *integral time* (τ_i) 1 menit dan 10 detik sebagai *derivative time* (τ_D). Parameter ini menghasilkan respons osilatif, seperti tersaji di Gambar 2. Pengendali PID sebetulnya memberikan respon yang positif apabila diaplikasikan dalam pengendali pH. (Kumar & Deepika, 2014) menyebutkan bahwa aplikasi pengendali PID pada pengendali pH pada proses netralisasi limbah tekstil memberikan nilai *integral absolute error* (IAE) yang kecil. (Wahid & Abdillah, 2014) juga mengaplikasikan pengendali PID untuk pengendalian pH limbah cair laboratorium Departemen Teknik Kimia UI dengan kesimpulan yang sama.

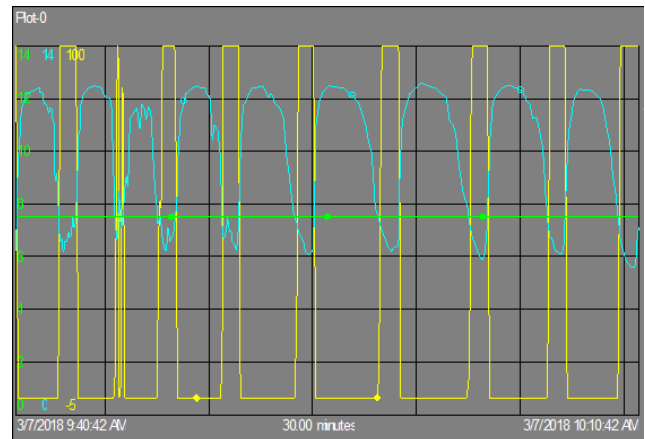
Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan parameter PID optimal, di mana ketika diaplikasikan di unit netralisasi QIC 3001 tidak diperoleh respon yang osilatif. Penentuan parameter PID dilakukan dengan metode kurva reaksi (*reaction curve method* – *Cohen Coon method*), seperti dilakukan Babu dan Swarnalath (2017) ketika melakukan PID *tuning* di proses netralisasi limbah industri tekstil. (Hermawan, 2010) telah menggunakan metode kurva reaksi dalam menentukan parameter PID untuk *tuning* pada pengendali suhu dari pemanas tangki berpengaduk. Begitu juga Hermawan dan Haryono (2012) yang mempelajari dinamika komposisi larutan dalam *mixing tank*. Penggunaan metode kurva reaksi dalam kedua proses tersebut menghasilkan respon yang baik dengan osilasi dan offset yang kecil.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu: (1) penentuan karakteristik komponen pengendali, (2)

penentuan fungsi hantar proses, (3) validasi fungsi hantar proses, (4) penentuan parameter pengendali (*tuning*) dan (5) analisa hasil *tuning*. Sistem pengendali pH di tangki netralisasi (QIC 3001) memiliki diagram blok seperti tersaji di Gambar 3. Komponen pengendali dalam sistem tersebut meliputi sensor (Gm), *control valve* (Gv), *controller* (Gc) dan proses pencampuran asam basa di tangki netralisasi (Gp).

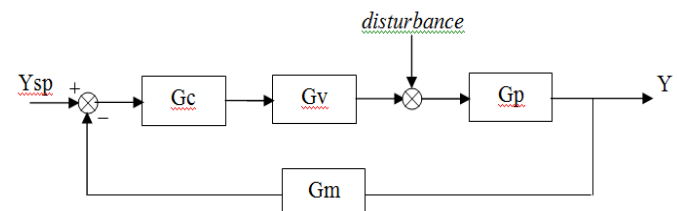
Penentuan karakteristik komponen pengendali, baik sensor maupun *control valve*, serta penentuan fungsi hantar proses dilakukan menggunakan metoda kurva reaksi. Metoda kurva reaksi diperoleh ketika pengendali dalam mo-



Gambar 2. Kinerja dari PID controller QIC 3001 (sumber: data recording industri serat sintetis, 2018)

Keterangan:

- Set point (SP)
- Manipulated Variable (MV)
- Process Variable (PV)



Gambar 3. Diagram blok logika proses di *neutralization unit* QIC 3001

de manual dan ditunggu sampai PV mencapai nilai konstan tertentu (*steady state*). Selanjutnya diberikan perubahan input berupa fungsi step (*step test*) dan dilakukan pengamatan hingga diperoleh nilai konstan berikutnya. Kurva yang diperoleh disebut kurva reaksi. Penentuan karakter sensor menggunakan buffer pH 7 dan kemudian secara mendadak sensor dipindahkan ke buffer pH 10. Sedangkan untuk karakter proses dilakukan dengan memberikan perubahan nilai persen bukaan *valve* dengan variabel perubahan sebesar -6%, -4%, -2%, +2%, +4%, +6% dari nilai kondisi *steady state*. Selanjutnya dilakukan identifikasi parameter fungsi transfer menggunakan hasil *step test*.

Pengendali pH di tangki netralisasi QIC 3001 dapat dimodelkan sebagai *first order process plus dead time*

(FOPDT), dengan persamaan umum dalam bentuk fungsi laplace menggunakan persamaan (1), di mana: G_p adalah fungsi hantar proses, K_p adalah *process gain*, τ_p adalah *time constant process* dan t_d adalah *dead time* atau waktu keterlambatan respon proses.

$$G_p = \frac{K_p}{\tau_p s} e^{-t_d s} \quad (1)$$

Validasi fungsi hantar proses dilakukan dengan membandingkan kurva fungsi hantar yang diperoleh dari hasil perhitungan dengan kurva reaksi selama eksperimen untuk masing-masing variabel perubahan tersebut di atas. Penentuan parameter pengendali (*tuning*) dilakukan dengan metoda kurva reaksi, atau dikenal juga dengan istilah metode Cohen – Coon untuk perubahan *set point* (servo system). Persamaan yang digunakan dalam *tuning* metoda Cohen – Coon merupakan persamaan *tuning* untuk pengendali PID, di mana parameter K_c (*proportional gain*), τ_i (*integral time*) dan τ_D (*derivative time*) memiliki nilai. Penggunaan ketiga parameter tersebut mengacu pada penelitian Babu and Swarnalath (2017). Persamaan yang digunakan tersaji di tabel 1.

Tabel 1. Persamaan *tuning* dengan Metoda Cohen – Coon

K_c (<i>proportional band</i>)	$K_c = \frac{1}{K_p} \frac{\tau_p}{t_d} \left(\frac{4}{3} + \frac{t_d}{4 \cdot \tau_p} \right)$
τ_i (<i>integral time</i>)	$\tau_i = t_d \frac{32 + 6 \cdot t_d / \tau_p}{13 + 8 \cdot t_d / \tau_p}$
τ_D (<i>derivative time</i>)	$\tau_D = t_d \frac{4}{11 + 2 \cdot t_d / \tau_p}$

Tahapan terakhir dari penelitian ini adalah analisa respon dari penerapan parameter *tuning*. Analisa respon dilakukan dengan membandingkan performa masing-masing respon. Performa respon ditunjukkan dengan nilai parameter *period of oscillation*, *overshoot* dan *sum square of error* (SSE). Nilai SSE diperoleh dari persamaan berikut:

$$(SSE) = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{sp})^2 \quad (2)$$

3. Hasil dan Pembahasan

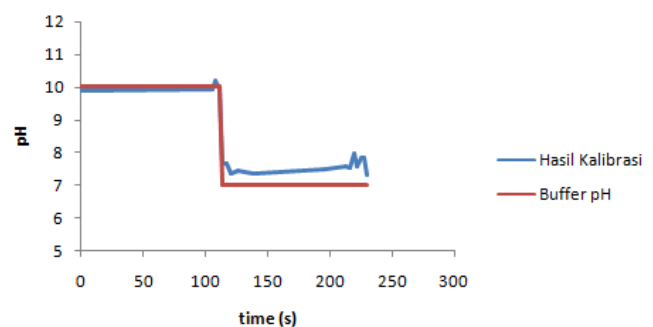
Diagram blok sistem pengendali proses pH pada *Neutralization unit* dapat dilihat pada Gambar 3. Sistem tersebut merupakan sistem pengendali *close loop* (lup tertutup) karena adanya umpan balik dari proses yang terjadi. Y_{sp} merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan *set point* pH yang ditentukan pada *plant* yaitu pada pH 8. Y_{sp} dibandingkan dengan hasil pengukuran blok G_m (*measurement*) dan menjadi masukan bagi blok G_c (*controller*). G_c memberikan respon ke G_v (blok *valve*). Setelah itu, *disturbance* (berupa laju alir *influent*) mempengaruhi keluaran (output) dari G_v dan menjadi masukan bagi blok G_p (blok proses). Keluaran blok G_p (Y) adalah output dari rangkaian sistem pengendali. Apabila Y belum sama dengan *set point* (Y_{sp}) maka diumpanbalikkan

ke awal proses untuk dilakukan pengaturan kembali agar sesuai *set point* yang diharapkan.

3.1. Karakteristik sensor

Penentuan karakteristik sensor dilakukan dengan memberi perubahan secara mendadak ke sensor pH. Perubahan yang dilakukan adalah dengan mencelupkan sensor pH ke dalam larutan buffer pH 7 dan buffer pH 10. Hasil rekaman data pembacaan tahapan karakteristik sensor disajikan dalam Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan bahwa respon (hasil pembacaan) membentuk fungsi *step*, dengan besaran yang sama seperti perubahan input yang dilakukan, yaitu dari buffer pH 7 ke buffer pH 10. Ketika sensor dicelupkan ke buffer pH 10 pembacaan pada *Distributed Control System* (DCS) masih berkisar mendekati 10 sedangkan ketika sensor dicelupkan ke buffer pH 7 pembacaan sensor juga berkisar antara pH 7. Dengan demikian, fungsi hantar untuk sensor pH di unit QIC 3001 hanya berupa gain dengan nilai sebesar 1 karena respon menunjukkan kurva yang sama dengan perubahan input (perubahan nilai pH) yang diberikan.

Tahapan berikutnya adalah penentuan karakteristik *control valve*. *control valve* dalam sistem QIC 3001 diasumsikan linear karena tidak memungkinkan untuk pengambilan data. Karakteristik *control valve* yang linear menunjukkan bahwa persen bukaan *valve* berbanding lurus dengan laju alir *manipulated variable* yang dihasilkan. Selain itu, perubahan terhadap *control valve* menghasilkan respon yang sama dengan inputan. Dengan demikian, fungsi hantar untuk *control valve* diasumsikan juga berupa gain dengan nilai 1.



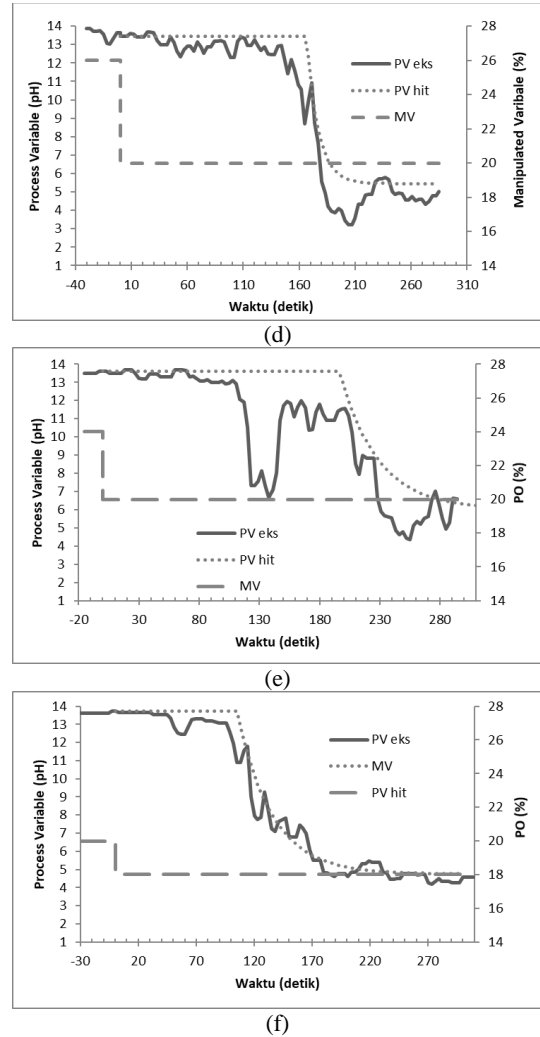
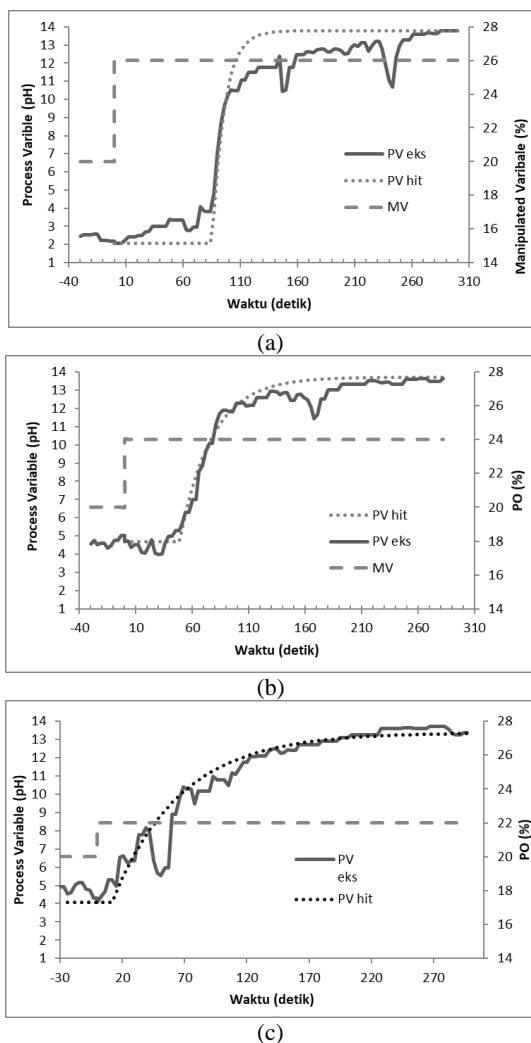
Gambar 4. Kurva respon karakteristik sensor pH di unit QIC 3001

3.2. Karakteristik proses

Karakteristik proses dinyatakan dalam bentuk fungsi hantar (*transfer function*) proses. Penentuan fungsi hantar proses dilakukan dengan menggunakan *step test*. *Step test* dilakukan pada beberapa perubahan persen bukaan *valve* (%PO), yaitu: +6%, -6%, +4%, -4%, -2%, dan +2%. Hasil *step test* untuk masing-masing perubahan disajikan di Gambar 5. Berdasarkan kurva tersebut dilakukan penentuan fungsi hantar dari masing-masing perubahan, yang disajikan dalam Tabel 2. Semua variabel menunjukkan kecenderungan yang sama yaitu mengikuti karakter *first order process plus dead time* (FOPDT).

Hasil *step test*, yang tersaji di Gambar 5 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa kondisi *steady state* awal untuk masing-masing variabel berbeda. Eksperimen sudah diupayakan menggunakan persen bukaan *valve* yang sama, sekitar 20% persen bukaan, dengan harapan diperoleh kondisi *steady state* awal (PV1) yang hampir sama. Akan tetapi kondisi di *plant* berbeda. Kondisi *steady state* awal ini dipengaruhi oleh kondisi *influent* tangki netralisasi, berupa air limbah dari unit proses, yang berubah-ubah pH nya. Perbedaan tersebut dicoba diminimalisasi dengan mencari nilai PV1 yang hampir mendekati.

Smuts (2011) menyatakan bahwa semakin besar nilai perubahan %PO maka nilai *dead time* (t_d) semakin kecil dan sebaliknya nilai *time constant process* (τ_p) naik seiring dengan bertambahnya nilai perubahan %PO. Kondisi ini tidak sesuai dengan hasil eksperimen.



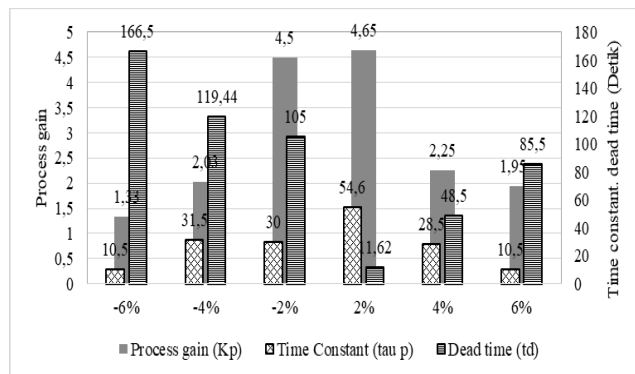
Gambar 5. Hasil Percobaan Penentuan Karakteristik Proses (Penentuan Fungsi Hantar untuk Masing-masing Perubahan %PO; (a) +6%, (b) -6%, (c) +4%, (d) -4%, (e) +2% dan (f) -2%.

Tabel 2. Fungsi Hantar untuk Masing-masing Perubahan %PO

Gambar No.	Perubahan %PO	Perubahan PV (pH)	Fungsi hantar
5. (a)	20 – 26 (+6%)	2,45 – 13,63	$\frac{1,95}{10,5 s + 1} e^{-85,5s}$
5. (b)	20 – 24 (+4%)	4,55 – 13,62	$\frac{2,25}{28,5 s + 1} e^{-48,5,5s}$
5. (c)	20 – 22 (+2%)	4,73 – 13,38	$\frac{4,66}{54,6s + 1} e^{-11,62s}$
5. (d)	26 – 20 (-6%)	13,79 – 5,01	$\frac{1,33}{10,5 s + 1} e^{-166,5s}$
5. (e)	24 – 20 (-4%)	13,59 – 6,58	$\frac{1,90}{31,5 s + 1} e^{-196,5s}$
5. (f)	20 – 18 (-2%)	13,75 – 4,57	$\frac{4,5}{30 s + 1} e^{-105s}$

Pengaruh nilai perubahan %PO terhadap t_d dan τ_p disajikan dalam Gambar 6. Dalam gambar tersebut, terlihat bahwa semakin besar nilai perubahan %PO nilai t_d semakin besar. Perubahan %PO yang besar menyebabkan sistem di tangki netralisasi lebih lambat merespon, akan tetapi membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk mencapai kondisi *steady state* kembali. Waktu yang lebih singkat

tersebut ditunjukkan dengan berkurangnya τ_p dengan bertambahnya nilai perubahan %PO.



Gambar 6. Perbandingan nilai *dead time* (t_d) dan *time constant process* (τ_p) pada Berbagai Nilai Perubahan %PO.

Gambar 6 juga menunjukkan bahwa untuk perubahan %PO yang bernilai negatif ternyata menyebabkan keterlambatan respon (t_d) yang lebih besar daripada ketika perubahan %PO bernilai positif. Kondisi ini dikarenakan perubahan %PO bernilai positif memberi dampak semakin besarnya laju alir kapur (*lime*) yang ditambahkan ke dalam tangki netralisasi. Penambahan laju alir kapur berdampak dengan cepat terhadap pH larutan di tangki netralisasi. Sedangkan ketika perubahan %PO bernilai negatif, menunjukkan bahwa laju alir kapur (*lime*) yang ditambahkan ke dalam tangki netralisasi dikurangi. Pengurangan laju alir kapur ini berdampak lambat, karena pH influent yang bersifat sangat basa lebih dominan.

3.3. Tuning dengan metode Cohen – Coon.

Hasil perhitungan parameter PID dengan *tuning* metode Cohen – Coon disajikan di **Tabel 3**. Metode Cohen – Coon dipilih berdasarkan hasil penelitian (Babu & Swarnalath, 2017) yang menyatakan bahwa *tuning* metode Cohen – Coon memberikan nilai *overshoot* minimal, walaupun membutuhkan settling time yang lebih lama daripada metode Ziegler Nichols. Metode Ziegler Nichols tidak dapat diaplikasikan di unit QIC 3001 karena proses pengendalian di unit QIC 3001 mempunyai nilai waktu keterlambatan (t_d) yang sangat besar. Bingi (2016), menyatakan bahwa *tuning* metode Ziegler Nichols memberikan hasil yang kurang memuaskan apabila diterapkan pada sistem dengan perubahan *set point* (*servo system*) yang memiliki waktu keterlambatan besar (t_d).

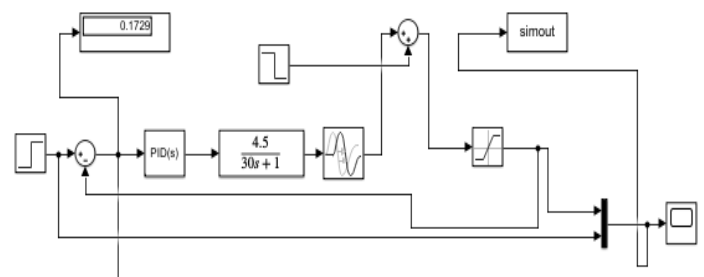
Hasil *tuning* metode Cohen – Coon diaplikasikan di sistem pengendali QIC 3001 yang terdapat di tangki netralisasi unit pengolah limbah. Sebagai pembanding, simulasi sistem pengendali QIC 3001 dengan Matlab juga dilakukan. Contoh diagram blok yang digunakan untuk menggambarkan proses di pengendali QIC 3001 disajikan di Gambar 7.

Perbandingan hasil aplikasi di plant dan hasil simulasi untuk masing-masing perubahan %PO disajikan di Gambar 8. Hasil *tuning* diaplikasikan untuk *set point* tetap atau

dengan perubahan disturbance berupa pH influent pada tangki netralisasi. Masing-masing parameter hasil *tuning* diaplikasikan langsung ke lapangan melalui *Distribution Control System Room* (DCS Room).

Tabel 3. Hasil Perhitungan Parameter PID dengan *Tuning* Metode Cohen – Coon

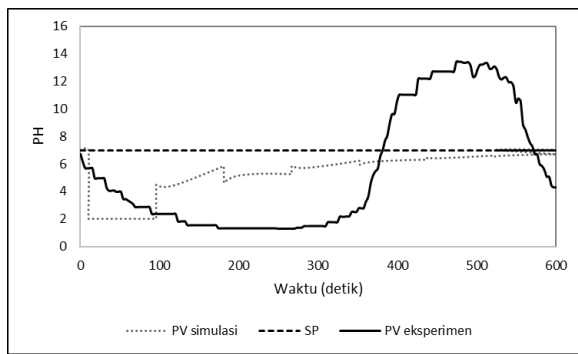
Gambar No.	Perubahan %PO	Controller gain Kc	Integral time τ_i (detik)	Derivative time τ_d (detik)
5. (a)	20 – 26 (+6%)	0.212	88,47	12.53
5. (b)	20 – 24 (+4%)	0.459	76,92	13.47
5. (c)	20 – 22 (+2%)	1,401	26,3	4,07
5. (d)	26 – 20 (-6%)	0.251	151,36	15.59
5. (e)	24 – 20 (-4%)	0.296	150,90	25,71
5. (f)	20 – 18 (-2%)	0.140	135,73	23,33



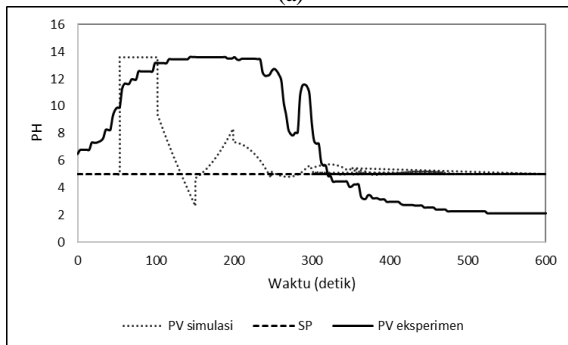
Gambar 7. Diagram blok sistem pengendali pH di Unit QIC 3001.

Aplikasi di *plant* memberikan hasil yang cukup jauh berbeda dengan simulasi. Hasil simulasi (yang ditunjukkan dengan garis berupa titik – titik terputus pada Gambar 8) menunjukkan bahwa respon dapat kembali ke *set point* ketika ada perubahan disturbance, untuk semua data fungsi hantar. Akan tetapi aplikasi di *plant* menunjukkan bahwa selama proses (600 detik) sistem belum ada yang dapat kembali ke *set point*.

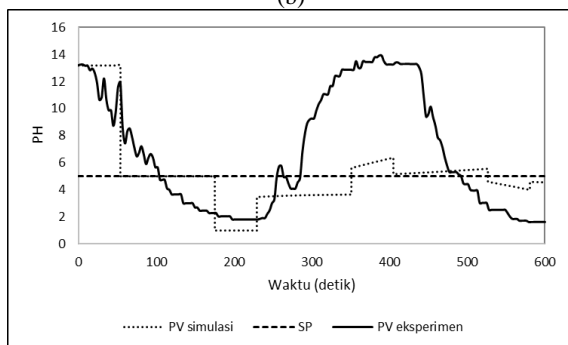
Semua kurva respon menunjukkan hasil yang osilatif, tetapi dengan *period of oscillation* yang lebih besar daripada kondisi sebelum dilakukan *tuning*, seperti terlihat pada Gambar 9. Hal ini dikarenakan sistem pengendali di unit QIC 3001 memiliki waktu keterlambatan (t_d) yang sangat besar. Rice (2010) menyatakan bahwa semakin besar waktu keterlambatan proses, relatif terhadap *time constant* proses, semakin sulit proses dikendalikan. Biasanya, ketika waktu keterlambatan proses (*Dead-Time process*) melebihi *Time Constant*, kecepatan pengendali untuk merespon perubahan yang diberikan berkurang secara signifikan. Hal itu akan merusak kemampuan pengontrol PID untuk menjaga stabilitas (Rice, 2010). Semakin besarnya nilai *period of oscillation* diharapkan dapat menurunkan frekuensi osilasi yang terjadi sehingga sistem dapat kembali ke *set point*.



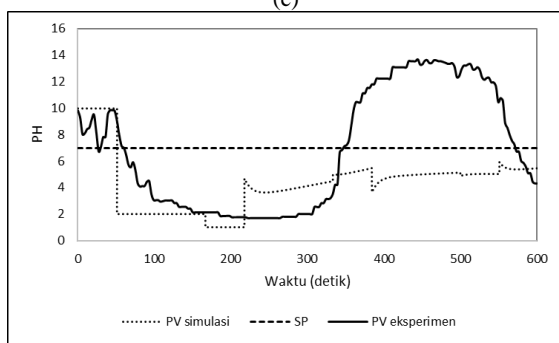
(a)



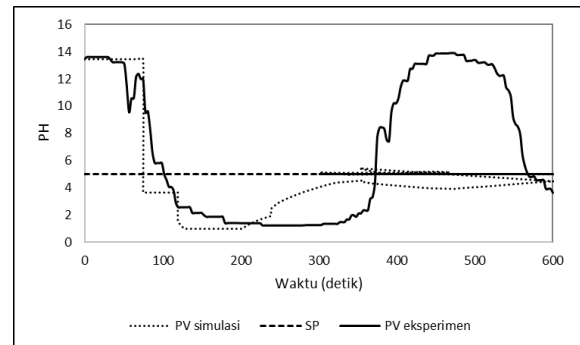
(b)



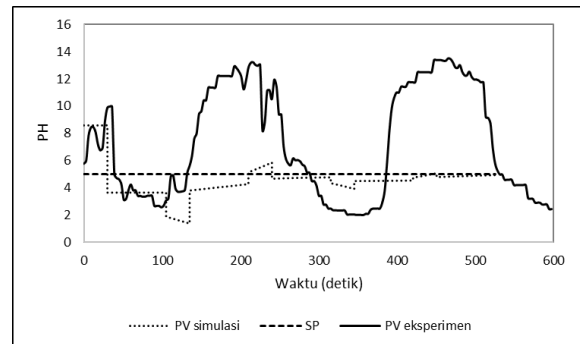
(c)



(d)

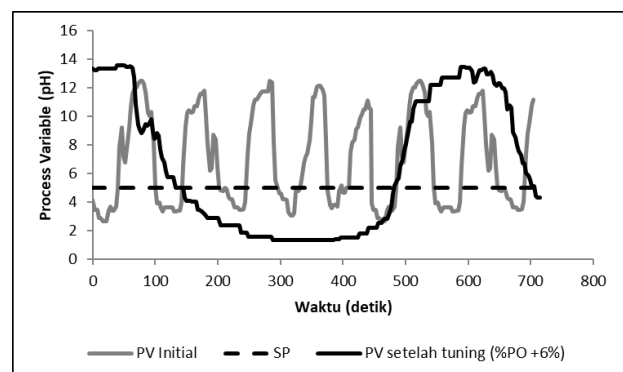


(e)



(f)

Gambar 8. Kurva Respon Aplikasi Parameter Hasil *Tuning* di Unit QIC 3001 serta Hasil Simulasi Untuk Masing-Masing Fungsi Hantar dengan Perubahan %PO (a) +6%, (b) -6%, (c) +4%, (d) -4%, (e) +2% dan (f) -2%.



Gambar 9. Perbandingan Kurva Respon Sebelum Dilakukan *Tuning* (PV Initial) dengan Kurva Respon Setelah Dilakukan *Tuning* (PV Setelah *Tuning*)

Analisa respon *tuning* dilakukan untuk melihat respon terbaik dari hasil *tuning* PID dengan rentang waktu sebesar 600 detik atau selama 10 menit tiap percobaan untuk kurva respon yang diperoleh dari hasil aplikasi di plant. Analisa dilakukan dengan menghitung nilai *overshoot*, *settling time*, *period of oscillation* dan *sum squared of error* (SSE). Hasil analisa respon *tuning* disajikan di Tabel 4. Nilai *settling time* tidak dapat dihitung karena semua respon hasil *tuning* masih tidak jauh berbeda dengan data initial. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi osilatif masih berlangsung, akan tetapi *period of oscillation* yang timbul lebih besar. Dengan demikian perlu dicoba metode *tuning* lain yang dapat mengakomodasi

adanya waktu keterlambatan yang cukup besar dalam pengendalian pH di Unit QIC 3001.

Tabel 4. Hasil Analisa Respon Hasil *Tuning* Metode Cohen – Coon

Gambar No.	Perubahan %PO	Overshoot OS	Period of Oscillation P (detik)	SSE
8. (a)	20 – 26 (+6%)	0,9376	570	5394,8
8. (b)	20 – 24 (+4%)	1,7206	305	5494,3
8. (c)	20 – 22 (+2%)	1,7827	389	4619,4
8. (d)	26 – 20 (-6%)	0,9575	409	3501,4
8. (e)	24 – 20 (-4%)	1,7806	465	5984,1
8. (f)	20 – 18 (-2%)	1,7028	296	4320,4
9 (initial cond.)	-	1,4952	102	-

4. Kesimpulan

Hasil *step test* untuk mendapatkan fungsi hantar menunjukkan bahwa sistem pengendali di QIC 3001 memiliki waktu keterlambatan (*dead time*) yang lebih besar daripada *time constant process*.

Hasil *tuning* yang diaplikasikan di unit QIC 3001 menunjukkan bahwa semua parameter pengendali PID yang digunakan masih menghasilkan respon yang osilatif, tetapi dengan frekuensi osilasi yang semakin berkurang. Hasil terbaik diperoleh untuk hasil *tuning* berdasarkan fungsi hantar yang diperoleh dengan memberikan perubahan PO sebesar -6% (dari %PO 26% menjadi 20%). Parameter pengendali PID yang diperoleh adalah $K_c = 0,251$; $\tau_i = 151,36$ detik dan $\tau_D = 12,53$ detik.

Performa respon dengan parameter pengendali tersebut memiliki nilai *overshoot* terendah, yaitu 0,9575, dan *sum squared of error* terkecil, yaitu 3501,377. Akan tetapi nilai *period of oscillation* masih besar (570 detik) sehingga perlu dicoba metode *tuning* lain, khususnya yang dapat mengakomodasi adanya waktu keterlambatan yang lebih besar daripada *time constant process*. Selain itu, dapat dilakukan metode pengendalian lanjut, antara lain dengan menggunakan *Smith Predictor*.

Daftar Pustaka

- Babu, R., & Swarnalath, R, 2017, Comparison of Different Tuning Methods for pH Neutralization in Textile Industry. *Journal of Applied Sciences*, 17(3), pp. 142–147. <https://doi.org/10.3923/jas.2017.142.147>
- Hermawan, Y. D., 2010, Implementation of Process Reaction Curve for Tuning of Temperature Control Parameters in A 10 L Stirred Tank Heater, *Journal of Materials Science and Engineering A 1* (2011). pp.572-577. ISSN 1934-89591–6.
- Hermawan, Y. and G. Haryono, 2012, Dynamic Simulation

And Composition Control In A 10 L Mixing Tank. *Reaktor*, 14(2), pp. 95-100, <https://doi.org/10.14710/reaktor.14.2.95-100>

- Kumar, D. D., & Deepika, D., 2014, Performance comparison of pH Neutralization process among different tunings of conventional controllers. *Applied Mechanics and Materials* 573, pp. 260–266. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.573.260>
- Rice, R. C., 2010, PID Tuning Guide A Best-Practices Approach to Understanding and Tuning PID Controllers First Edition Simplifying PID Control, Optimizing Plant Performance. Retrieved from https://web-material3.yokogawa.com/Yokogawa_PID_Tuning_Guide_-_csTuner.pdf?_ga=1.61113583.296607337.1493113296
- Wahid, A., & Abdillah, F., 2014, Pengendalian pH Limbah Cair Laboratorium Departemen Teknik Kimia UI Menggunakan Pengendali PID Linear Pada *Mini Plant* WA921. *SINERGI* 18(2), pp. 85–91.